

ДИСПЕРСИЯ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ И РАДИОЛОКАЦИИ СО СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫМИ СИГНАЛАМИ

С.Н. Разиньков

(Воронеж, Военный авиационный инженерный университет, vaiu@gmail.com)

DISPERSION OF THE FIXING OF MEANS OF THE RADIO COMMUNICATION AND RADAR-LOCATIONS WITH SUPERBROADBAND SIGNALS

S.N. Razin'kov

Для контроля радиоизлучений в сложной сигнально-помеховой обстановке требуется применять системы мониторинга с оценкой местоположения их источников [1]. Координаты сверхширокополосных (СШП) излучателей могут определяться триангуляционным способом [1] при измерении направлений прихода сигналов по разности времени приема в разнесенных точках пространства [2].

Базовый вариант триангуляционной системы местоопределения представляет собой комплект из двух пеленгационных постов с центром обработки пеленговой информации, а каждый пеленгатор – подсистему из двух приемников-измерителей времени прихода сигналов с пунктом обработки результатов измерений [2].

В отличие от узкополосных сигналов, обработка СШП излучений не подразделяется на независимые процедуры их приема и оценки параметров [3, 4]. Угло-временное представление обрабатываемых реализаций зависит от характеристик передающих и приемных антенн, а направленные свойства антенных систем изменяются в зависимости от вида возбуждающих сигналов [3].

Цель работы – исследование дисперсии оценки координат средств радиосвязи и радиолокации с СШП сигналами.

Будем полагать, что приемники-измерители с тождественными характеристиками располагаются на оси Ox декартовой системы координат; пеленгационные базы имеют равную длину L , расстояние между пеленгационными постами, отсчитываемое от центральных точек пеленгационных баз, обозначим d , подразумевая, что $d \gg L$.

Источник СШП сигналов находится в плоскости XOY , его положение относительно начала выбранной системы координат задается вектором с абсолютной величиной R_0 , отклоненным от оси Ox на угол $\theta = \theta_0$ против часовой стрелки. При этом для обеспечения высокой апостериорной точности измерений [1, 2] выполняется условие $R_0 \gg L$, электромагнитное поле, поступающее на антенны измерителей, имеет плоский фронт [3].

Излучатель характеризуется спектральной плотностью энергии сигнала $w_T(\omega)$ в полосе циклических частот $\omega \in [\omega_{\min}; \omega_{\max}]$ и парциальным коэффициентом усиления антенны $G_T(\omega, \theta)$; система местоопределения – парциальными эффективными поверхностями приемных антенн $A_R(\omega, \theta)$ и передаточными функциями приемников

$$H(\omega) = \begin{cases} 1 & \text{при } \omega \in [\tilde{\omega}_{\min}; \tilde{\omega}_{\max}] \\ 0 & \text{при } \omega \notin [\tilde{\omega}_{\min}; \tilde{\omega}_{\max}] \end{cases}, \quad (1)$$

в полосе циклических рабочих частот $\omega \in [\tilde{\omega}_{\min}; \tilde{\omega}_{\max}]$. Приемники согласованы с антеннами по входным сопротивлениям [3], их собственные шумы представимы гауссовским белым шумом с односторонней спектральной плотностью N_0 .

При $d \ll R_0$ дисперсия оценки максимального правдоподобия (ОМП) координат излучателя определяется выражением [1]

$$\sigma_R^2 = \frac{R_0^4}{d^2 \sin^2 \theta_0} \left[\sigma_{\theta 1}^2 + \sigma_{\theta 2}^2 \right], \quad (2)$$

где $\sigma_{\theta K}^2$ – дисперсия пеленгования СШП сигнала первым ($k = 1$) и вторым ($k = 2$) постами.

При условии, что среднеквадратическая ошибка измерения разности хода лучей между парными приемниками-измерителями существенно меньше пеленгационной базы L , дисперсию оценки направления на источник радиоизлучения представим в виде [1]

$$\sigma_{\theta k}^2 = \frac{\tilde{n}^2}{L^2 \sin^2 \theta_{0k}} \left[\sigma_{ik1}^2 + \sigma_{ik2}^2 \right], \quad (3)$$

где $\sigma_{ik i}^2$ – дисперсия измерения времени прихода сигнала в первом ($i = 1$) и втором ($i = 2$) приемниках k – ого ($k = 1, 2$) пеленгационного поста,

$$\theta_{0k} = \arctg \left(\frac{R_0 \sin \theta_0}{R_0 \cos \theta_0 + (-1)^{k+1} d/2} \right), \quad k = 1, 2, \quad (4)$$

– направление на излучатель из позиции k – ого пеленгатора, c – скорость света. Дисперсия ОМП угловых координат объекта имеет вид

$$\sigma_{iK i}^2 = \left\{ \frac{1}{4\pi^3 N_0} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 w_R^{ki}(\omega, \theta_{0ki}) d\omega \right\}^{-1}, \quad (5)$$

где

$$w_R^{ki}(\omega, \theta_{0ki}) = |\dot{H}(\omega)|^2 w_{R0}^{ki}(\omega, \theta_{0ki}), \quad (6)$$

и

$$w_{R0}^{ki}(\omega, \theta_{0ki}) = \frac{1}{4\pi R_{Ki}^2} G_T(\omega, \theta_{0ki}) w_T(\omega) A_R(\omega, \theta_{0ki}), \quad (7)$$

– спектрально-угловая плотность энергии сигнала [4] на входе приемника и антенны соответственно, $R_k = \sqrt{R_0^2 + (-1)^k d R_0 \cos \theta_0 + d^2/4}$ – расстояние от излучателя до центра k – ой ($k = 1, 2$) пеленгационной базы.

Из (2), (3), (5) – (7) с учетом (1), (4) следует

$$\sigma_R^2 = N_0 \left(\frac{4\pi^2 \tilde{n} R_0^3}{d L \sin^2 \theta_0} \right)^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^2 \psi_{ki} \left[\int_{\Omega_{\min}^{ki}}^{\Omega_{\max}^{ki}} \omega^2 G_T(\omega, \theta_{0ki}) w_T(\omega) A_R(\omega, \theta_{0ki}) d\omega \right]^{-1} \quad (8)$$

где $\Omega_{\min}^{ki} = \Omega_{\min}^{ki}(\theta_{0ki})$ и $\Omega_{\max}^{ki} = \Omega_{\max}^{ki}(\theta_{0ki})$ – нижняя и верхняя границы спектра обрабатываемого сигнала, удовлетворяющие уравнению [3]

$$\Omega_{\max}^{ki}(\theta_{0ki}) - \Omega_{\min}^{ki}(\theta_{0ki}) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} w_R^{ki}(\omega, \theta_{0ki}) d\omega}{\max_{\omega} w_R^{ki}(\omega, \theta_{0ki})}, \quad (9)$$

$$\psi_{ki} \equiv \psi_{ki}(d, L, R_0, \theta_0) = \xi_k^2 + (-1)^i L \sqrt{\xi_k^2 - \sin^2 \theta_0} + L^2 / 4R_0^2 \quad (10)$$

– геометрический фактор, характеризующий взаимное расположение источника СШП сигналов и приемников системы местоопределения

$$\xi_k \equiv \xi_k(d, R_0, \theta_0) = \sqrt{1 + (-1)^k d \cos \theta_0 / R_0 + d^2 / 4R_0^2} \quad (11)$$

– геометрический фактор, определяющий положение излучателя по отношению к пеленгационным постам,

При допустимой нормативными ограничениями средней плотности мощности излучения \tilde{N}_0 спектральная плотность энергии СШП сигнала $w_T(\omega)$ для средств радиосвязи удовлетворяет условию [3]

$$w_T(\omega) \leq \tilde{N}_0 / 2\nu_0, \quad (12)$$

где ν_0 – средняя скорость передачи импульсов, а для средств радиолокации – условию [5]

$$w_T(\omega) \leq \tilde{N}_0 / 2F_0, \quad (13)$$

где F_0 – частота повторения зондирующих импульсов.

Из (8) – (13) следует, что при минимально достижимая при предельной средней плотности мощности излучения дисперсия оценки координат источника СШП сигналов определяется выражением

$$\sigma_R^2 = 2\alpha_0 q_0^{-2} \left(\frac{4\pi^2 \tilde{N} R_0^3}{dL \sin^2 \theta_0} \right)^2 \sum_{K=1}^2 \sum_{i=1}^2 \psi_{ki} \left[\int_{\Omega_{\min}^{ki}}^{\Omega_{\max}^{ki}} \omega^2 G_T(\omega, \theta_{0i}^k) A_R(\omega, \theta_{0i}^k) d\omega \right]^{-1}, \quad (14)$$

где $q_0^2 = \tilde{N}_0 / N_0$ – предельно допустимое отношение спектральной плотности мощности излучения к спектральной плотности мощности шума приемника, α_0 – символьный параметр, который принимает значение ν_0 для средств радиосвязи и F_0 для средств радиолокации.

Таким образом, точность местоопределения излучателя зависит от его положения по отношению к постам измерительной системы и взаимной ориентации передающей и приемных антенн. Величина (14) снижается по мере возрастания значения интеграла от произведения квадрата циклической частоты, спектрально-углового распределения коэффициента усиления передающей антенны и парциальной эффективной поверхности приемной антенны в эквивалентной полосе сигнала на входе приемника.

Литература

1. Кондратьев В.С., Котов А.Ф., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы / Под ред. В.В. Цветнова. М.: Радио и связь, 1986. 264 с.
2. Радзиевский В.Г., Трифонов П.А. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. М.: Радиотехника, 2009. 288 с.
3. Моделирование малогабаритных сверхширокополосных антенн / Под ред. В.Б. Авдеева, А.В. Ашихмина. Воронеж: Изд-во Воронежского госуниверситета, 2005. 223 с.
4. Разиньков С.Н. Спектральные энергетические уравнения передачи негармонических сигналов и их применение в сверхширокополосных радиосистемах // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2010. Т. 13. № 3. С. 12.
5. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения) / Под ред. В.В. Григорина-Рябова. – М.: Сов. радио, 1970. 680 с.